

Kolinlagring med biokol

– Att nyttja biokol och hydrokol som
kolsänka i östra Mellansverige

Henric Andersson • Cathrine Hekkala



Kolinlagring med biokol

Att nyttja biokol och hydrokol som kolsänka i östra Mellansverige

Henric Andersson
Cathrine Hekkala

Agtech Sweden
c/o Linköpings universitet
Att. Per Frankelius
IEI
581 83 Linköping
www.agtechsweden.com

Kolinlagring med biokol: Att nyttja biokol och hydrokol som kolsänka i östra Mellansverige
av Henric Andersson och Cathrine Hekkala
Nummer 11 i rapportserien Agtech innovation

© 2022 Författarna och Agtech 2030*

Licens: Creative Commons Erkännande 4.0 CC BY

* Från 1 januari 2024 namnändras Agtech 2030 till Agtech Sweden

ISBN 978-91-7929-467-0 (PDF)

<https://doi.org/10.3384/9789179294670>

ISSN 2004-4542 (print)

ISSN 2004-4380 (online)

Förord

Den här rapporten utgör slutrapport för projektet ”Biokol - kunskapslyft” som har fokus på kolinlagring med hjälp av biokol. Projektet är ett samarbete mellan Envinn AB och Vreta Kluster, och sker inom ramen för och med delfinansiering från innovationsinitiativet Agtech 2030. Jag vill tacka alla som deltagit i projektet och bidragit till slutrapporten för ett gott samarbete. Framst Cathrine Hekkala, Helene Oskarsson och Ian Hamilton. Vi riktar även ett tack till alla er som deltagit i workshops, seminarium och andra dialogformer under detta projekt. Ämnet kolinlagring har kanske aldrig varit så högaktuellt som nu och det är angeläget att få frågan belyst så att vi kan hantera den på bästa sätt framgent. Den här rapporten – som ingår i rapportserien Agtech innovation – är ett bidrag till denna belysning.

Borensberg 31 oktober 2022

Henric Andersson

Projektledare

Sammanfattning

Denna slutrapport beskriver ”Biokol kunskapslyft” som genomfördes 2022. Projektet omfattade biomassor, tillverkning, användningsområden och affärsmodeller samt kopplingar däremellan. Fördjupad insikt om biokol utvecklades och spreds under projektets gång, liksom ny kunskap om hydrokol. Generellt sett tillverkas biokol med hjälp av pyrolys av torra biomassor medan hydrokol tillverkas med hydrotermisk karbonisering (HTC-processen) av våtare biomassor.

En central del av projektet var analys av vilka biomassor som finns i regionen och hur hydrokol/biokol tillverkade av dessa passar för olika användningsområden. Analysen sammanställdes i en mappning mellan biomassor och användningsområden med en gradering av hur lämplig varje enskild kombination är. En slutsats från analysen är att dagens vanliga upplägg där biokol från obehandlad träflis används i urbana planteringar inte är det mest optimala nyttjande av resurser. Stor potential hittades i andra kombinationer, till exempel att nyttja restströmmar från regionens många pappersbruk för att tillverka hydrokol och sedan använda som torversättning i planteringsjord.

Vidare diskuterades affärsmodeller och en ny svensk standard som utvecklas av med Hushållningssällskapet som projektledning. Ett nätverk av aktörer inom biokol och hydrokol började ta form bland annat med befintliga intressenter från Vreta Kluster, Cleantech Östergötland, Linköpings universitet, Agtech 2030 och Branschföreningen Svensk biokol.

Arbetsmetoden med tre workshops och ett öppet seminarium med kopplad samverkansdiskussion ansågs av deltagarna ha fungerat bra. Speciellt fokus lades på hybridmötesteknik med förstärkt teknikstöd för både digitalt och fysiskt deltagande, så att alla skulle få samma förutsättningar att känna sig inkluderade. Fördelen med hybridupplägget var att kunna ha med deltagare från olika platser och organisationer, både nationellt och internationellt. Hela upplägget gav ett positivt stöd för samarbetsfokus mellan olika aktörer så som lantbrukare, panntillverkare, kommersiella användare, fritidsodlare, certifieringskunniga, klusterorganisationer och myndigheter.

Arbetsmetoden ansågs passa till denna typ av kortare projekt och planeras att användas i kommande liknande kunskapsintensiva projekt med stort fokus på samarbete.

Resultatet av arbetet finns i denna slutrapport.

Innehållsförteckning

INLEDNING	7
PROJEKTETS MÅL OCH SYFTE	8
DEFINITION AV CENTRALA BEGREPP	9
METOD	10
ARBETSGÅNG	10
MAPPNING MELLAN BIOMASSA OCH ANVÄNDNING	10
FAKTABAKGRUND	12
AKTÖRER.....	12
BIOMASSA	13
PRODUKTION	16
ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN.....	18
AFFÄRSMODELLER	23
RESULTAT	26
ANALYS AV MAPPNING.....	26
WORKSHOPS OCH SEMINARIUM	31
METODDISKUSSION	40
SLUTSATSER	41
REFERENSER	42
BILAGOR	45

Inledning

Kolinlagring blir en allt viktigare åtgärd för att minska mängden koldioxid i atmosfären och för att behålla mer av kolet i marken. Det finns många metoder för att lagra in kol varav inblandning av biokol och hydrokol i marken eller i ett material, är relativt enkla metoder. För lantbruksnäringen är det samtidigt viktigt att bryta trenden med minskande mull- och kolreserver i marken för att bibehålla bördighet och bidra till samhällets livsmedelssäkerhet. På odlingsmark kan biokol och hydrokol göra flera nyttor så som bättre tillväxt och minskad urlakning.

Sedan några år finns en fri marknad för kolsänksrätter som ger ett incitament till företag att lagra in kol mot ersättning. Samtidigt arbetar EU-kommissionen med ett regelverk kallat EU Carbon Removal Certification Mechanism (CRC-M) inom ramen för EU:s gröna giv med samma syfte och mål (skilj detta från EU:s utsläppsrätter¹). Handel med kolsänksrätter ger affärsmöjligheter att bidra både till ökad kolinlagring och ökad livsmedelsproduktion.

Biokol och hydrokol skapar nya möjligheter för kolinlagring, handel med utsläppsrätter och en mängd olika användningar. För att få med hela kolcykeln behöver man även studera olika typer av biomassa, deras lämplighet för produktion och användning av biokol och/eller hydrokol. Det finns stor potential för ökat resursutnyttjande och högre utnyttjade av restströmmar med en cirkulär modell där flera aktörer deltar.

Denna rapport är ett resultat av projektet ”Biokol – kunskapslyft” med målsättning att öka och sprida kunskap om biokol och hydrokol. Både som enskild insats och i kombination med andra metoder, för att skapa en hållbar affärsmodell för biokolproducenter och för användare av biokol och hydrokol de kommande åren. Fokusområde har varit Östra Mellansverige (Örebro, Västmanlands, Uppsala, Södermanlands och Östergötlands län). Inspiration och kunskap har hämtats både nationellt och internationellt. Projektet pågick mellan mars och juni 2022.

I rapporten beskrivs inte vad biokol och hydrokol är, eller dess historia. Inte heller beskrivs specifikt deras kemiska, fysiska och biologiska egenskaper. För denna information se till exempel Biokolhandboken (Fransson et al. 2020) som skapats i projekt Rest-till-bäst för biokol. För hydrokol finns mer djupgående information att läsa i (Dieguez-Alonso 2018).

¹ Handel med utsläppsrätter regleras inom *European Union Emissions Trading System*, EU ETS och innefattar en begränsad mängd rätter att släpp ut växthusgaser som där utbud och efterfrågan sätter priset på utsläppen.

Projektets mål och syfte

Syftet med projektet är att skapa en kunskapsgrund för att nyttja biokol och hydrokol som metod för kolinlagring. Både som enskild insats och i kombination med andra metoder för att skapa hållbara affärsmodeller för biokolproducenter och för bland annat lantbrukssektorn de kommande åren.

Ett annat syfte med projektet är att skapa ett nätverk som på sikt kan leda till ett centrum för kolinlagring och biokol i regionen östra Mellansverige. Projektets aktiviteter ska främja nätverkande och samarbete mellan olika typer av aktörer, allt ifrån lantbrukare och panntillverkare till certifieringsorgan och myndigheter.

Målet är att nå ut till intressenter inom områdena tillverkning, användning och affärsmodell för biokol och hydrokol genom tre workshops och ett öppet seminarium. Detta för att samla den informationen som finns idag, samt diskutera utmaningar och framtidsmöjligheter.

Definition av centrala begrepp

Här definieras några av de begrepp och förkortningar som är centrala i projektet och som används i rapporten. Begrepp, beskrivning och källa anges i Tabell 1. Beskrivning av centrala begrepp.

Tabell 1. Beskrivning av centrala begrepp.

Begrepp	Beskrivning	Källa
Biokol	Poröst, kolhaltigt material som produceras genom pyrolys av växtmaterial och används på ett sådant sätt att innehållande kol fortsätts lagras som långsiktig kolsänka eller substituerar fossilt kol i industriell tillverkning. Det ska inte förbrännas för energiproduktion.	EBC (fri översättning av EcoTopic)
Pyrolys	En process där ett ämne upphettas till en hög temperatur, vanligtvis omkring 350-1000°C, i en syrefri miljö, så att det sönderfaller utan att förbränning sker. Relativt torr biomassa	Biokolhandboken
HTC	HydroThermal Carbonization (HTC). Hydrotermisk karbonisering. Uppvärmning under tryck till 150°C - 300°C. Relativt fuktig biomassa	C-green
Hydrokol	Produkt från HTC. Även kallat HTC-kol. Eng. biocoal, hydrocoal, hydrochar, biochar. I vissa sammanhang kallas hydrokol även för biokol	Envinn, baserat på flera källor
Kolsänka	En kolsänka eller en CO ₂ -sänka är en växande kolreservoar och är motsatsen till en kolkälla	Wikipedia
Kolinlagring	Att minska mängden koldioxid i atmosfären genom att binda in den i marken, i växtlighet eller på mekaniskt/mineraliskt vis	Svensk kolinlagring
Kolkredit / Kolsänksrätt	En aktör som lagrar koldioxid kan sälja det som kolkrediter / kolsänksrätter till en annan aktör. En kolkredit motsvarar ett ton koldioxid	Envinn, baserat på flera källor
EBC	European Biochar Certification. Certifieringssystem för biokol (som tillverkats genom pyrolys)	EBC
REVAQ	Svenskt certifieringssystem för bl.a. hållbart kretslopp och slamanvändning på åkermark	REVAQ
FSC	Forest Stewardship Council. Certifieringssystem för skog	FSC
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification. Certifieringssystem för skog	PEFC

Det bör nämnas att begreppet biokol är relativt väletablerat även om det finns flera definitioner som skiljer sig åt. För hydrokol återstår däremot arbete för att etablera en liknande samsyn och för att verifiera hydrokolets permanens (alltså motståndskraft mot nedbrytning) och därmed dess potential som kolsänka.

Metod

Metoder som använts i projektet för att samla, sammanställa och sprida kunskap är: litteraturstudie, workshops, intervjuer, analys och ett öppet slutseminarium. Arbetet har även dokumenterats i denna slutrapport.

Arbetsgång

Projektet innehöll litteraturstudie, tre workshops, ett öppet seminarium och en slutrapport enligt Figur 1.



Figur 1. Arbetsmoment i projektet.

Samtliga fyra träffar arrangerades som hybrid-möten med både digitalt och fysiskt deltagande på Vreta kluster utvecklingscentrum. Speciellt fokus lades på hybridmötesteknik för både digitalt och fysiskt deltagande, så att alla skulle få så lika förutsättningar som möjligt att dela information, vara med i diskussionerna och skapa nätverk. En fördel med hybridupplägget var att kunna ha med deltagare från olika platser och organisationer, både nationellt och internationellt.

Program för det öppna seminariet finns inlagt i Bila. Seminariet spelades in och kan ses i efterhand ([Varför biokol? 2022](#)).

Mappning mellan biomassa och användning

För att kunna analysera det relativa värdet av en specifik användning av biokol/hydrokol från en viss biomassa skapades en mappningsmatris. En viss typ av biomassa är efter pyrolys/hydrolys inte tillåten för viss typ av användning enligt EBC (European Biochar Certification). Till exempel är inte biokol som producerats från rivningsvirke inte tillåten som tillsats i djurfoder. För varje kombination av biomassa och användningsområde analyseras två aspekter:

- Otillåten eller tillåten kombination
 - Otillåten kombination markeras med ”-”
 - Tillåten kombination graderas och markeras med en siffra och en färg
- Gradering, hur resursoptimal en tillåten kombinationen är (1–5 där 5 är mest optimal)

Se Figur 2 för förklaring och färgskala.

-	Otillåten användning enligt EBC
1	Olämplig kombination / resursslöseri
2	
3	
4	
5	Lämplig kombination / optimalt resursutnyttjande

Figur 2. Förklaring av gradering med färgskala för mappning

Gradering med färgskala används i mappningsmatrisen enligt Figur 3.

	Användningsområde						
Biomassa	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
B1	5	-	-	-	-	-	-
B2	4	5	-	-	-	-	-
B3	3	4	5	5	-	-	-
B4	1	2	3	3	5	5	-
B5	1	1	2	2	4	4	5

Figur 3. Mappningsmatris för mappning mellan biomassa och användningsområde.

Metoden baserades på EBC (se *Klassificering av biomassa* nedan) och graderingen beräknades på följande sätt: EBC-klasserna och användningsområdena tilldelades värdesiffror mellan ett och sex. En mer högvärdig biomassa (som skogsflis) fick värdet 1 och en lågvärdig (som avloppsslam) fick siffran 6. På samma sätt fick ett känsligt användningsområde (som fodertillsats) värdet 1 och okänsligt (som tillsatsmedel i betong) värdet 6.

Var kombinationen inte möjlig enligt EBC:s certifiering, så angavs den som en otillåten kombination. I annat fall beräknades skillnaden som resulterade i den presenterade graderingen. Kombinationer i matrisens fyra hörn beskriver ytterligheterna: Biomassa B1 och användningsområde (gradering 5) är en lämplig kombination. Biomassa B1 och användningsområde A7 är en otillåten kombination. Biomassa B5 och användningsområde A1 (gradering 1) är en möjlig men olämplig kombination och slutligen Biomassa B5 och användningsområde A7 (gradering 5) är också en lämplig kombination.

Genom att använda denna visualisering och metod för mappning av en viss biomassa till en viss användning går det enkelt att se om en kombination är tillåten (enligt EBC), och i så fall bedöma hur lämplig den är utifrån graden av resursutnyttjande.

Faktabakgrund

För att sätta resultatet av projektet i ett sammanhang och lättare förstå de uppkomna förslagen finns här en samlad faktabakgrund över nuläget i utvecklingen av biokol och hydrokol.

Aktörer

Det finns flera standarder för klassificering av biokol. Här följer beskrivningar av biokol-standarder med fokus på det europeiska certifieringssystemet EBC. Hydrokol har ingen motsvarande standard i dagsläget. I kapitlet Affärsmodeller beskrivs mer ingående om standarder och regler för kolsänksrätter.

European Biochar Certificat (EBC)

EBC ligger närmast till hands för oss i Europa och Sverige. Den har sedan början av 2022 även en svensk bilaga specifikt för svenska regler.



Deras regelverk för klassificering av biokol, baserat på analyserat innehåll och typ av biomassa, används genomgående i denna rapport och klasserna beskrivs under avsnittet *Klassificering av biomassa* nedan (EBC 2012–2022).

International Biochar Initiative (IBI)

IBI är en medlemsorganisation som grundades 2006 i Philadelphia, USA.

Den tillhandahåller en plattform för att främja samarbete mellan intressenter, och driver fram standarder för att stödja biokolsystem som är säkra, hållbara och ekonomiskt lönsamma.



Det är i dagsläget (Phase 1) endast möjligt att certifiera produktionsanläggningar för biokol enligt IBIs regler i USA och Kanada. Många svenska och nordiska intressenter är medlemmar hos IBI som även håller kurser, evenemang och webinarier. (IBI webbplats, 2022).

Australia New Zealand Biochar Industry Group (ANZBIG)

ANZBIG är baserat i Australien och arbetar med frågor om biokol. De driver bland annat ”The Biochar Podcast” som tar upp aktuella frågor och trender om utveckling och etablering av biokol.



ANZBIG är ett kluster av organisationer med mål att:

- Samla biokolföretag och institutioner
- Underlätta samarbete mellan företag, myndigheter och forskning
- Vara en röst hos politiker och myndigheter för att säkerställa att företag som producerar och använder biokol uppmuntras och stöds på lämpligt sätt
- Etablера nätverk som kan gynna riskhantering, export och tillväxt hos medlemmar
- Marknadsföra branschens framgångar och skapa ett erkänt varumärke

ANZBIG tillhandahåller skrifter, kurser och seminarier (ANZBIG webbplats, 2022).

Nordic Biochar Network (NBN)

Nätverket startade som en idé 2018 och registrerades formellt som en förening 2019 i Norge. NBN är en plattform för att utbyta kunskap och träffa andra intressenter av biokol - biokolforskare, producenter, användare och entusiaster. Medlemskapet i NBN är personligt och för närvarande kostnadsfritt (Nordicbiochar webbplats, 2022).

Branschföreningen Biokol Sverige

Branschföreningen Biokol Sverige bildades våren 2014 för att utgöra ett informations- och kommunikationsforum om biokol för alla. Föreningen startades för att koppla ihop entusiaster och för att samarbeta för att sprida informationen till fler (Biokolsverige webbplats, 2022).

Biomassa

För tillverkning av biokol och hydrokol behövs organiskt material, som i denna rapport generellt kallas för biomassa. Ur resurs och klimatsynpunkt är det en fördel att använda så stora andelar biomassa från restprodukter och restströmmar som möjligt.

Klassificering av biomassa

Hur kan biokol eller hydrokol från olika biomassor då användas? Det första steget är att klassificera biomassorna efter ursprung för att sedan undersöka deras lämplighet för olika användningsområden. EBC:s regelverk för klassificering av biokol definierar sex olika klasser baserat på analyserat innehåll och typ av biomassa. Det finns också förslag på tänkt användningsområde för de olika klasserna, som namnet på klasserna indikerar, se Figur 4.

Exempel på biomassa	EBC-klass
Träflis från sly, sågspån	Feed
Överblivet utsäde (ekologiskt)	Agro Organic
Bioslam från biogasproduktion	Agro
Papper (max 1 % plast)	Urban
Papper (max 10 % plast)	Consumer Materials
Tryckimpregnerat trä	Basic Materials

Figur 4. Exempel på biomassa för tillverkning och motsvarande kvalitetsklass för biokolet enligt EBC (EBC 2012–2022).

EBC har också tagit fram riktlinjer som kallas ”Positive list of biomass feedstock approved for use in producing biochar.” Ref: EBC (2022). Där kategoriseras biomassorna och kopplas till en högsta EBC-klass som respektive kategori är godkänd för. I Tabell 2 finns ett utdrag ur EBC positive list med kategori av biomassa, exempel och högsta EBC-klass för respektive kategori. Kategorierna har även översatts till svenska.

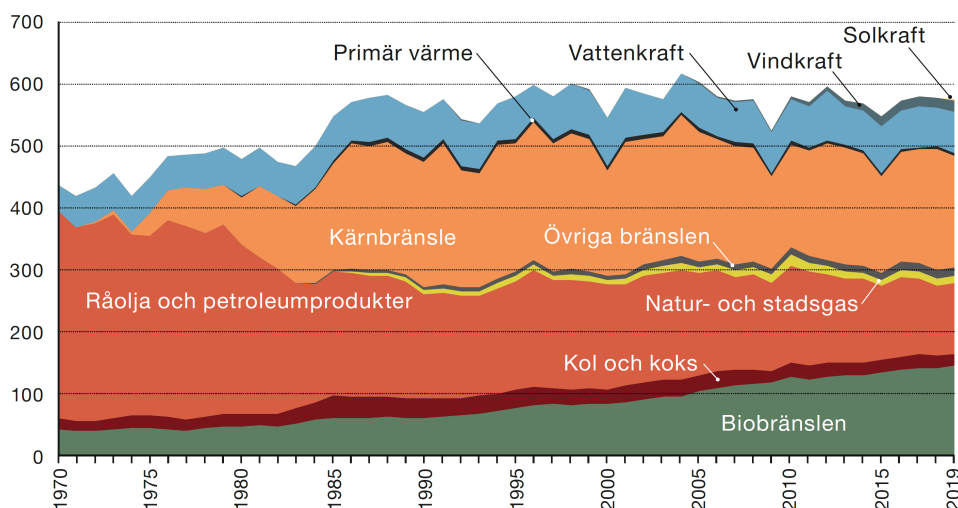
Tabell 2. Utdrag ur EBC positive list.

Information från ”EBC positive list of biomass feedstock ...”			
Kategori		Exempel	Högsta EBC-klass
F	Skog och processat trä <i>Forest and wood processing</i>	Träflis, sågspån, bark	Feed
S	Landskapsvård <i>Landscape management</i>	Rester från trädbeskrning, stubbar	Feed – AgroOrganic
R	Cirkulär ekonomi <i>Recycling economy</i>	Returpapper, returträ, rester från industriell biomassa	AgroOrganic – BasicMaterials
I	Fiberslam <i>Paper fibre sludge</i>	Slam från papperstillverkning	AgroOrganic
N	Livsmedelsindustri <i>Food processing residues on vegetable basis</i>	Rester från tillverkning av livsmedel, tobak, öl/vin/sprit	Feed – AgroOrganic

I Resultatdelen av denna rapport, se *Resultat*, används en mer fullständig tabell för att kategorisera biomassor i regionen.

Träråvara

Förbränning av biomassa, främst i form av trä, är viktigt för värmeproduktion i Sverige. Idag sker förbränning på industriell skala och användningen ökar. Den totalt tillförda energin som biobränslen uppgår i Sverige till ca 150 TWh per år. Figur 5 visar utveckling och fördelning mellan olika energislag de senaste 50 åren.



Figur 5. Användning av biobränslen ökar i Sverige. Total tillförd energi 1970–2019, TWh (Energiläget 2021).

Det finns begränsningar för vissa biomassor att användas till värmeproduktion, de är inte tillåtna eller inte ekonomiskt lönsamma. Våta biomassor kostar mycket energi att torka för förbränning, och det kan även finnas förbud eller problem med förbränning på grund av föroreningar så som höga halter av tungmetaller eller andra ämnen. Den vanligaste biomassan för samtidig och enkel produktion av värme och biokol är träflis från skogsrester, sly eller annan träråvara.

Restströmmar

Många restströmmar har hög fukthalt och lämpar sig bäst för tillverkning av hydrokol. Detta ger möjlighet att omvandla avloppsslam och andra restprodukter så som fiberslam från pappersindustrin. Man behöver ta hänsyn till oönskade ämnen i biomassan, speciellt halten av tungmetaller. I EBCs riktlinjer finns gränsvärden för halter av olika kvarvarande tungmetaller för olika användningsområden, alltså för de olika klasserna av biokol, se Tabell 3.

Tabell 3. Gränsvärden.

g / ton torr biokol	Feed	Agro Organic	Agro	Urban & Consumer Materials	Basic-Materials
Arsenik (As)	2	13	13	13	Ingen gräns**
Bly (Pb)	10	45	120 (100*)	120	
Kadmium (Cd)	0,8	0,7	1,5 (1*)	1,5	
Kvicksilver (Hg)	0,1	0,4	1	1	

* Lägre gränsvärde enligt svensk standard (SPCR 152, 2021).

** Det finns inget gränsvärde, men analysresultat ska deklarerars.

Det är speciellt viktigt att göra täta analyser av tungmetaller vid användning av restströmmar eftersom de kan variera kraftigt, till exempel kommunalt avloppsslam.

Produktion

Omvandling av biomassa till en mer högvärdig produkt kan ske på olika sätt, där förbränning och värmeproduktion är en historiskt viktig omvandlingsprocess. Förädling av biomassan till biokol och hydrokol kan i många fall kombineras med värmeproduktion på ett effektivt sätt.

Pyrolys – biokol

Upphettnings i syrefattig miljö kallas för pyrolys. Biokolet tillverkas genom att det organiska materialet torkas och upphetas i en ugn utan lufttillförsel till 350 - 1000°C (Fransson et al. 2020). Ju torrare materialet är desto mindre energi för torkning går det åt i processen. Flyktiga ämnen som metan, vätgas, och kolmonoxid avgår och kvar i fast form blir biokol. Moderna biokolpannor kan effektivt producera både värme och biokol.

För definitionen av klasser för biokol beroende på vilken biomassa som används (enligt EBC), se kapitel om *Klassificering av biomassa* ovan. Pyrolystemperatur, uppehållstid i biokolpannan och kemisk sammansättning påverkar också vilken kvalitet och vilken EBC-klass biokolet kan ges. Man kan också efterbehandla kolet för att få fram biokol med önskade egenskaper. Beroende på användning kan man fukta, finfördela eller aktivera biokolet på olika sätt. Före användning i odling laddas det ofta med näring och/eller mikroorganismer.

Själva ordet pyrolys har sitt ursprung i grekiskans **pyro** för "eld" och **lysis** för "separera".

HTC – hydrokol

Från 1930 och framåt har HTC-processen (hydrotermisk karbonisering) utvecklats för hantering av våt biomassa och restströmmar från exempelvis pappersindustrin och reningsverk. Genom processen, som först beskrevs av nobelpristagaren Friedrich Bergius, utvinns materialet hydrokol, ett mer högvärdigt material än biomassan.

Processen innebär uppvärmning av den våta biomassan i några timmar till 200 - 250°C under högt tryck för att undvika kokning. Kemiska tillsatser, såsom syra eller bas för pH-justering, eller katalysatorer, kan tillsättas. HTC har fått ett stort intresse som en metod för uppgradering av olika strömmar med lågt värde, t.ex. industriellt avfall av biologiskt ursprung, till ett attraktivt biobränslematerial. HTC-teknik leder inte bara till ökat kolinnehåll utan det tillåter också separation av vissa grundämnen som annars kan försvåra användningen av biomassan.

C-green är en av de leverantörer som kommit längst i Norden och har installerat en fullskalig HTC-anläggning i Finland. Den omvandlar bioslam från Stora Enso's massa/pappersbruk i Heinola till hydrokol som sedan används som biobränsle för att ersätta torv som bränslekälla.

Ref: (RISE 2021), (C-green, 2022)

Skillnader mellan biokol och hydrokol

Eftersom biokol och hydrokol tillverkas på olika sätt och under olika förhållanden får de olika egenskaper. Några av skillnaderna mellan biokol och hydrokol (Kumar et al. 2020):

Tillverkning:

- Biokol tillverkas i högre temperatur än hydrokol.
- Hydrokol tillverkas under högt tryck, biokoltillverkningen är inte trycksatt.
- Hydrokol tillverkas från biomassa med mer än 10 % fukthalt.
- Processen för att tillverka hydrokol är mer energieffektiv.

Egenskaper:

- Biokol är ett mer poröst material än hydrokol.
- Kolet i biokol är starkare bundet än i hydrokol.
- Biokol har högt värmevärde medan hydrokol har lågt värmevärde.

Kolets stabilitet som kolsänka

Stabilitet hos kolet där det används är en viktig faktor för att bedöma potentialen som kolsänka över tid. Det nämns ofta att biokol består i marken i tusentals år. De mätbara parametrar som enklast kan användas för att prediktera stabiliteten är ligninhalt och kvoterna mellan de ingående grundämnena väte H, syre O och kol C (kvoten H/C och kvoten O/C).

IBI har analyserat över 20 olika metoder för att bedöma stabilitet hos biokol i jorden med 100 års tidshorisont. Deras slutsats är att kvoten mellan väte och organiskt kol (H/C_{org}) är en relativt säker, enkel och kostnadseffektiv analysmetod, och är därmed den metod de föreslår att använda i praktiken, se IBI, Biochar Carbon Stability Test Method (2013). IBI har också publicerade klassificeringsmetoder för näringseffekt, kalkeffekt och partikelstorlek (IBI webbplats, 2022).

Ju lägre H/C_{org} desto stabilare kol. Kvoterna ska enligt EBC vara under 0.7 för H/C_{org} och under 0.4 för O/C för att klassas som godkänt biokol. I biokol är kolet hårdare fixerat än i hydrokol och för båda gäller att ökad processtemperatur fastlägger kolet hårdare. För biokol baserat på träflis är H/C_{org} typiskt mellan 0.1–0.2. För hydrokol finns det få rapporter, men i (de Jager 2021) finns exempel på H/C 1.2 och O/C på 0.2 vid 230 graders HTC-temperatur (IBI 2013) vilket tyder på lägre stabilitet för hydrokol jämfört med biokol.

Användningsområden

Användningsområden utgörs grovt sett av:

- Användning i djurhållning
- Användning i odling
- Rening, filter och dränering
- Inblandning i material
- Ersätta fossilt kol i stålproduktion (endast biokol)
- Ersätta fossilt kol som bränsle (endast hydrokol)

För biokol är erfarenheter och kunskap om användning mer utvecklad än för hydrokol.

Djurhållning

Studierna kring inblandning av biokol i djurfoder är ännu begränsade. I artikeln ”Use of biochar as feed supplements for animal farming” (Ka et al. 2021) har man gjort en sammanställning av de större studierna på biokol som fodertillsats för idisslare (nötkreatur och getter), grisar, fjäderfä och fisk. Denna sammanställning visar på att tillskott av biokol resulterar i ökad tillväxt, högre äggutbyte och förbättrad förmåga att motstå patogener. På grund av biokolets uppsugande förmåga avlägsnas föroreningar och gifter från djurens kroppar och från även gårdsmiljön.

För idisslare visas också att metanproduktionen minskar. Genom att addera 1% biokol i fodret har det rapporterats att bildandet av metan kunde reduceras med 12,7% (Gerlach, Schmidt, 2012).

När ett stort antal djur tvingas att hållas på en relativt liten yta höjs stressnivåerna hos djuren vilket försvagar immunsystemen samtidigt som risken för sjukdomsspridning ökar (Gerlach, Schmidt 2012). Ur ett hälsoperspektiv kan tillsatsen av biokol i foder vara ett alternativ till medicinering, då kolet kan motverka diarré-sjukdomar hos djuren. För höns gäller detta även för salmonella, en bakterie som sällan påverkar hönsen direkt utan i stället påverkar människor.

För att minska spridning av patogener (smittämnen) kan man även använda biokol i strö. På samma sätt som i djurens metabolism så adsorberar biokolet patogener i ströet och minskar därmed spridningen av sjukdomar. En annan fördel med att använda biokol i strö är att det minskar avgången av ammoniak. Den mesta ammoniaken bildas i ströbädden genom mikroorganismer som bryter ned kvävet som finns i gödseln och bildar ammoniak (Ritz et al. 2004). Minskning av ammoniak i stallar ökar välmående och tillväxt hos djuren. Fuktnivån i strö kan kontrolleras och regleras genom applicering av biokol. Biokolet förmåga att absorbera vatten gör att stallmiljön blir mindre fuktig. Genom minskade halter av ammoniak och mindre fuktigt strö så minskas odören i stallarna.

Biokol som tillsats i strö kan helt eller delvis ersätta torv. Enligt en studie från Sveriges Lantbruksuniversitet är biokol bra som torversättning hos fjäderfä avseende vattenhållande förmåga, men sämre vad gäller att binda ammoniak. Biokolets låga förmåga att binda ammoniak antas bero på dess höga pH-värden. För att minska problem med damm rekommenderar studien att biokolet har en torrsubstanshalt på högst 70% (Andersson 2022).

Odling

På grund av biokolets struktur och egenskaper så har biokol en direkt eller indirekt påverkan på jorden genom följande faktorer (Chen et al. 2019)

- Vattenhållande
- Näringshållande
- Öka mullhalt & mineralhalt
- Främja mikroliv
- Öka porositet
- Bulkdensitet
- pH reglerande
- Katjonbyteskapacitet

Biokol kan övervinna eller lindra jordbegränsande faktorer och därmed främja grödors tillväxt och utveckling. Applicering av biokol lämpar sig på olika typer av miljöer - inom jordbruk, trädgårdar, fotbollsplaner, urban miljö som i stadsmiljö med mera. Effekterna av biokol på tillväxten beror på den mängd biokol som tillsätts i jorden, gröda och marktyp. De största fördelarna har man generellt sett på magra torkkänsliga jordar och jordar med lågt pH.

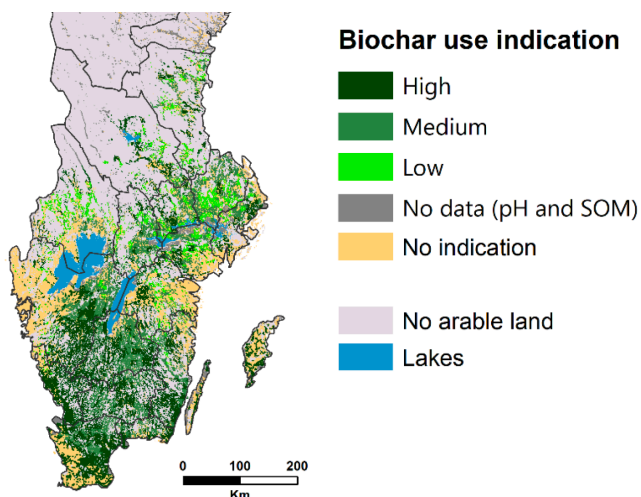
Det är inte bara markens och grödans förutsättningar som påverkar resultatet av användning av biokol i odlingsjord, utan också variationen i biokolets egenskaper. Mer porös biokol ger bättre effekt på vattenhållande förmåga, biokol med högt pH ger större förbättring på surare jordar medan biokol med lägre pH passar bättre där man redan har högt pH eller inte önskar höja pH-värdet. Fler områden där biokol i odlingsjord kan ge en positiv effekt:

- Varierande klimat med torra och regniga perioder
- Mark med hög risk för urlakning
- För minskad kväve-avgång

I en avhandling av F. Osslund (2020) beräknades potentialen av biokol på olika delar av svensk åkermark utifrån följande faktorer:

- Jordart
- Kväveläckage
- Markfukt
- Markens pH
- Mullhalt

Data för analysen hämtades från öppna nationella informationskällor.



Figur 6. Indikation på potentialen av biokol på åkermark.

Enligt Figur 6 framgår det vilka delar av åkermark i södra Sverige som biokol har hög potential.

Med Solkol, ett projekt inom Agtech Challenge, gjordes 2021 försök med tillsats av biokol i potatisodling. Det spreds ut 600 liter biokol på en 60 m² stor försöksruta på ett potatisfält med sandjord, vilket gav 18 % högre potatisskörd jämfört med referensrutan. Potatisodlingen drevs konventionellt med bevattning. Under 2022 odlades höstvetete på samma fält, också konventionell odling utan bevattning. Skörden mättes genom att väga helsäden (hela plantan över mark). Resultatet visade att mängden helsäd var 50% högre i försöksrutan jämfört med referensen, se Figur 7.



Figur 7. Skörd och vägning av höstvetete för att jämföra växtlighet, med och utan biokol.

Gröna ytor skapar hållbara städer, vilket ställer krav på den urbana växtligheten som ofta har begränsat utrymme. Som jordförbättringsmaterial är biokol och hydrokol intressant för att förbättra växtligheten och växters möjlighet att överleva vid begränsat livsrum. Det finns stor potential i användningen av biokol i urbana miljöer, se Biokolhandboken (Fransson et al. 2020).

Filtrering, rening och dränering

Förutom att binda näringsämnen kan bio-/hydrokol också binda organiska och oorganiska miljögifter och kallas då för biofilter. Det har egenskaper liknande aktivt kol, vilket kan används för rening av både vatten och luft. Några exempel på vad ett biofilter med bio-/hydrokol kan fånga är aceton, pesticider, tungmetaller, PAH:er och patogener som exempelvis E. coli-bakterier. Rening av dagvatten i städer är ett av de mer etablerade användningsområdena idag.

Biofilter med biokol har visat sig reducera halterna av flera olika föroreningar i dagvatten i städer. När kolet i biofiltren blir mättat behöver det bytas ut och destrueras. Kolets förmåga att binda föroreningar i biofiltren styrs av flera olika inbindningsmekanismer. Om till exempel pyrolys sker under 500°C blir biokolets yta mer polär och då fastnar laddade ämnen bättre (som metalljoner och näringsämnen). Men om den sker över 500°C blir biokolet mindre polärt och då fastnar organiska ämnen (som PAH och oljor) bättre. Vidare läsning finns i Biokolhandboken (Fransson et al. 2020).

Aktivering av biokol och hydrokol för att få egenskaper liknande aktivt kol. En intressant process är ångförgasning av hydrokol för samtidig produktion av aktiverat kol och brännbar gas vilken omvandlas till el och värme samt, se vidare (Mlonka-Mędrala 2022). Aktiverat kol skulle sedan med fördel kunna användas som filter vid rening av vatten och luft (Karlsson 2019).

Parkförvaltningar i allt fler kommuner använder biokol både som substrat i trädplantering och för dagvattenfilter. Det behöver utredas vilka regler som ska gälla om det biokol som har använts för rening av dagvatten vid hårt trafikerade vägar ska återanvändas till annat. Hur säkerställs att föroreningsnivån i det använda biokolet inte är för hög?

Att blanda in biokol vid täckdikning får ses som en engångsaktivitet för det speciella fältet och genomförs vid ordinarie dikning. Andra metoder kan givetvis användas på samma fält. Försök med biokol i avrinningsdiken beskrivs i en studie utförd av Mellhorn (2015). För att förenkla hantering är det lämpligt att fukta upp biokolet före arbetet. Nackdelen är att detta ökar vikten som ska hanteras. Utifrån studien ger biokolsfiltret ingen mätbar reduktion av näringsämnestransporterna med dräneringsvatten från åkermark och heller ingen avskiljning av partiklar. Studien konstaterar att mer forskning behövs för att ta fram bra riktlinjer för hur biokol ska framställas för att fungera som sorption av joner och som matris för mikrober.

Man kan även tillsätta biokol direkt i täckdikessystemets grenledningar tillsammans med eller i stället för ordinarie filtermaterial som ofta består av grus, torv, sågspån eller kokosfibrer (Mellhorn 2015).

Vinsten med att lägga i biokol som filtermaterial vid täckdikning är främst att minska urlakning och övergödning genom att hindra läckage av näringsämnen via dräneringsvattnet.

Inblandning i material

Produkter med inblandning av biokol i betong eller andra material börjar komma ut på marknaden. Företaget Biokolprodukter marknadsför till exempel fundament för träd som är tillverkade av biokolbetong, se Figur 8.



Figur 8. Trädgropsfundament i biokolbetong.

Biokolbetong kan ha 50 % lägre klimatpåverkan än vanlig betong på grund av den kolsänka som biokolet utgör (Biokolprodukter 2022).

Det pågår även försök med inblandningar av biokol i plast och gummi, exempelvis i bildäck (Dagens Industri 2022).

Alternativ användning som bränsle och i stålproduktion

Det går att inkludera biokolproduktion i såväl stora värmepannor för fjärrvärme som på gårdsnivå, men det leder till en nettoökning av biomassaförbrukningen, jämfört med direkt förbränning av biomassa. Klimateffekten kan variera mycket och behöver beräknas med livscykelanalys för varje unikt projekt (Azzi, 2021). När biokol ersätter fossilt kol som bränsle eller som reduktionsmedel vid framställning av järn och stål stämmer inte definitionen av biokol helt överens med den som används av EBC. Eftersom hela eller delar av kolet avgår som koldioxid i processen utgör inte biokolet en kolsänka. För hydrokol tycks denna begränsning inte vara lika strikt, även om det ännu inte finns en lika tydlig definition av hydrokol. Hydrokol har ett relativt stort användningsområde som bränsle. Jämfört med biokol är det logiskt då hydrokol har lägre permanent som till exempel jordförbättring och torversättning. Om hydrokol kan ersätta fossila bränslen så är det ändå en klimatvinst.

Det finns en marknad för att ersätta fossilt kol i stålproduktion. Biokolmarknaden för att göra stålindustrin fossilfri uppskattas till 500 000 ton per år i Norden. Det finns ännu ingen riktigt storskalig produktion i Sverige av biokol som uppfyller järn- och stålindustrins krav. Den största producenten idag är Envigas som producerar 5 000 ton per år i en anläggning i Bureå. Flera stora satsningar främst i norra Sverige syftar till att landet ska bli världsledande på vätgas till fossilfri järnsvamp och fossilfritt stål. Men förutom vätgas behövs det en del kol i processen. Med kol tillverkat av träprodukter skulle mängden koldioxidutsläpp kunna reduceras ner ytterligare. De stora ståltillverkarna är inte de enda som ser biokol som ett alternativ när utsläppen ska pressas. Även för smältverk och mindre gjuterier, som har svårt att gå över till vätgas, är biokol högintressant (Envigas 2022), (Dagens Industri 2022).

Affärsmodeller

Många lantbrukare upplever en stor potential i kolinlagring som en framtida förstärkning av intäktsströmmarna i företaget via kolkrediter. Marknaden för kolkrediter börjar ta form, men däremot är kunskap och rådgivning om användning av biokol och hydrokol inte etablerad.

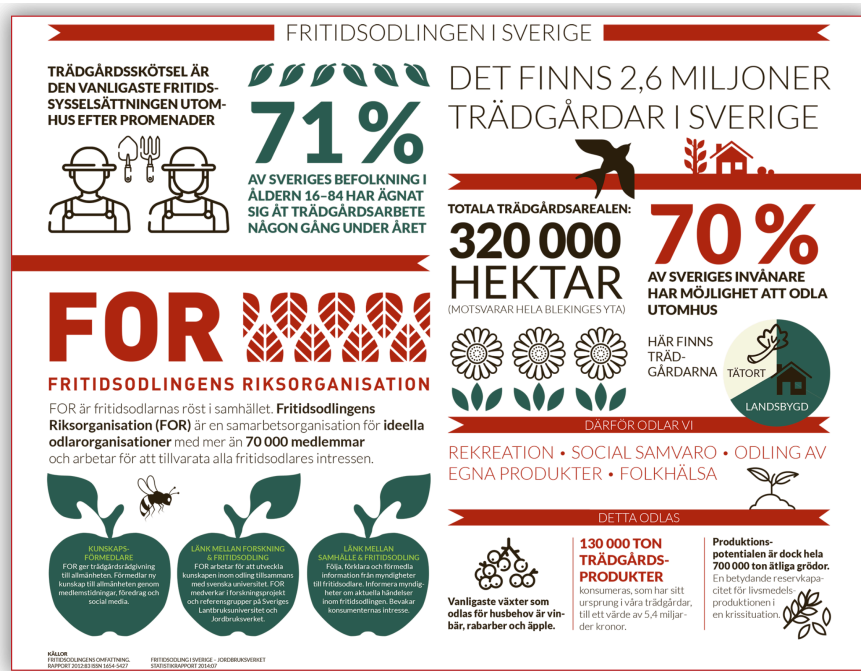
Produkterna biokol och hydrokol

Eftersom tillsats av biokol eller hydrokol är relativt dyrt så är det en fördel med bidrag från flera nyttor för att lättare kunna räkna hem en investering. Den tillväxtbefrämjande effekten liksom investeringen behöver ses över många år, på liknande sätt som man beräknar en investeringskalkyl i täckdikning.

Priset på oladdad biokol i storsäck är relativt lika mellan leverantörer. Det kostar i dagsläget (Juli 2022) från ca 4,00 kr per liter exklusive moms. I konsumentförpackning skiljer priset dock en hel del. Aktuella priser på biokol i Sverige sammanställs på ([Envinn Biokol 2022](#)). För hydrokol finns ännu inte en etablerad marknad, så prisnivån är osäker.

Konsumenter

Det finns ingen statistik över produktion och konsumtion av biokol och hydrokol.



Figur 9. Fritidsodling i Sverige. (Fritidsodlingens Riksorganisation 2022).

Fritidsodling står för produktion av 130 000 ton trädgårdsprodukter på 320 000 ha till ett värde av 5 400 Mkr årligen enligt (Fritidsodlingens Riksorganisation 2022), se Figur 9.

Fritidsodlare är en växande kundgrupp för biokol som ren produkt men även för konsumentförpackningar med biokol i jordblandning, så kallad påsjord. I jordblandning kan biokol och hydrokol ersätta torv vilket är ett växande köpargument hos många konsumenter.

Kolkrediter

Marknaden för kolkrediter är ännu relativt omogen. Det diskuteras av EU om en gemensam reglerad marknad (på samma sätt som gemensamma regler för utsläppsrätter) inom ramen för EU:s gröna giv. EU-kommissionen håller på att utveckla ett regelverk för både natur- och teknikbaserade kolsänkor. I underlag för utvecklingen beskrivs följande viktiga faktorer som baseras bland annat på erfarenheter från aktörer på den fria marknaden. Några grundprinciper för kolsänkrätter är:

- Kvantifiera och hantera systemgränser och läckage av koldioxid.
- Vara permanent i ett antal år. Eventuellt läckage eller kortare permanens kompenseras genom att binda mer kol vid starten. Även sätt att hantera risken för överskattning av permanens
- Skydda mot negativa biverkningar och sätt för att öka fördelarna
- Kvantifiera och hantera osäkerheten hos åtgärder
- Använda och vidareutveckla olika verifierings- och valideringsmetoder
 - Oberoende verifiering
 - Mätbara, enligt vetenskapliga standarder
- Att de är verkliga, kolsänkor ska ha etablerats innan respektive krediter säljs
- Att de är unika, då både producent och användare av biokolet förbinder sig att inte ta klimatnyttan någon annanstans.

Ref: (McDonald 2021), (C-sink 2022)

Än så länge utgörs den tillgängliga handeln med kolkrediter av fria marknadsplatser som startats av olika aktörer. Exempel på två ledande marknadsplatser som hanterar kolinlagring med biokol är puro.earth och carbonfuture som bland flera beskrivs här nedan (puro 2022), (carbonfuture 2022).

PURO

Puro.earth nuvarande metoder för kolsänkor är: biokol, biobaserade konstruktions- och byggnadsmaterial, geologiskt lagrat kol och nedbrukning av träbaserat biomassa. Dessutom har de utvecklat en metod för jordförbättring med biomassa, ”Soil Amendments Methodology” inom EU:s LIFE-program, EU:s finansieringsinstrument för miljö- och klimatåtgärder. Där används en modell som kallas Yasso-modellen (från Finlands Meteorologiska Institut, FMI) för att beräkna nedbrytningshastigheten på det tillförda kolet i marken. Modellen används även för andra syften och den är kalibrerad för att prediktera kolsänkans effektivitet i 20 år (FMI - Yasso 2022).

Det behövs även en LCA (Livscykelanalys) ur ett hållbarhetsperspektiv för att ha ett underlag att basera klimatnyttan på. Den ska ta hänsyn till alla delar i kedjan så som miljöpåverkan och utsläpp från till exempel transporter.

EBC C-sink

Certifiering av kolsänka enligt C-sink är en process i två steg:

1. EBC certifierar den potential som biokol har vid producentens fabriksport. Detta inkluderar alla utgifter för biomassaproduktion, transport, flisning, lagring, torkning samt alla utgifter för pyrolysanläggningen.
2. Vid fabriksporten tas biokolet över av ett spårningssystem som följer och bedömer alla utsläpp av växthusgaser som sker under vägen (som transport och bearbetning). Så

snart biokolet blandas in hos lantbruket som foder, kompost, flytande gödsel och gödsel eller i hållbara material som betong eller gummi, kan potentialen omvandlas till säljbara certifikat.

Certifiering av biokolets potential som kolsänka är en tjänst som tillhandahålls av EBC till alla EBC-certifierade tillverkare i Europa, USA och Kanada. De certifierar bara det de kan mäta, beräkna, spåra och förutsäga med säkerhet. Alla utsläpp av växthusgaser som orsakas under processen dras av från den beräknade potentialen som kolsänka. EBC C-sink-standarden är för närvarande den mest rigorösa standarden för kolsänkor baserade på biokol (C-sink 2022).

Carbon future

Carbonfutures kolsänksrätter utfärdas baserat på standarden EBC C-sink. De har i dagsläget inte metodik för hantering av kolsänkor baserade på hydrokol. Ett certifikat från Carbonfuture definierar biokolet klimatpåverkan netto på produktionsplatsen. Bevis på kolsänkan skapas genom att kontrollera att biokolet används på ett sätt som säkerställer stabil kolinlagring (t.ex. direkt i jorden). En kolsänksrätt finansierar ett ton CO₂-ekvivalenter under 100 år. Carbonfuture använder blockkedjeteknik för att säkerställa korrekt och riktig dokumentation.

Nori

Nori jobbar inte primärt med just biokol som metod för kolinlagring. De använder en metod med mätning av kolhalten i marken för att verifiera den inlagrade mängden kol, oavsett hur kolet har lagrats in. En kombination av biokol eller hydrokol med andra metoder som håller kvar stora delar av kolet i marken (som plöjningsfri odling, grüngödsling och mellangrödor) skulle kunna ge bra utslag vid mätning av kolinlagring. En kolsänksrätten kallas NRT "Nori Carbon Removal Tonne".

Nori använder blockkedjeteknik för säkrare spårbarhet av kolsänksrätter och har en 10-årshorisont i beräkning av klimatnyttan. De är främst verksamma i USA, vi har inte hittat några referenser i Europa. (Nori 2022)

Resultat

Projektets resultat utgörs av ökad kunskap om biokol och hydrokol, vilka biomassor och restströmmar som kan användas för tillverkning och olika användningsområden. Resultatet baseras på projektets faktabakgrund med tillägg av ny kunskap, men också idéer och tankar, från diskussioner under projektets workshops och seminarium. Region Östra Mellansverige har varit i fokus under projektarbetet, men resultatet kan ses som bredare än så.

Kärnan av kunskapen har sammanställts i denna rapport. Resultatet har delats in i avsnitt för att passa läsare som vill använda denna rapport som uppslag för vidare arbete inom något område.

En mängd idéer och förslag till fortsatt arbete har kommit från deltagare i projektet på frågeställningen: ”Vad är på gång nu i er organisation och var finns det luckor/behov av kunskap och utveckling runt biokol och/eller hydrokol?”

Analys av mappning

En viktig del av arbetet var att analysera och skapa en bild av vilken potential det finns i regionens biomassor och restströmmar. Dels vilka biomassor som finns i större mängder, dels vilken användning som efterfrågas. Analysen visar också vilken biomassa som passar till vilken användning om systemet som helheten ska vara så resursoptimalt som möjligt.

Biomassor

I Tabell 4 listas exempel på biomassor som diskuterats eller föreslagits under projektets gång. De är ordnade efter kategorier baserade på ”EBC positive list” som beskrivs i det tidigare Kapitlet *Klassificering av biomassa*. Dessa kategorier och regler gäller för biokol och det finns ännu inga motsvarande riktlinjer för hydrokol. I projektet nyttjas samma kategorisering för att analysera mappningen mellan biomassa och användning av hydrokol. Med högsta EBC-klass menas vilken klass som högst som får produceras av respektive biomassa enligt EBC:s riktlinjer. För några av kategorierna finns ett spann och det beror på att till exempel olika halter av uppmätta föroreningar kan spela in i klassificeringen även om man utgår från samma typ av biomassa.

Tabell 4. Tabell med biomassor och EBC-klasser sorterat efter kategorier enligt ”EBC positive list of biomass feedstock” (ECB 2022).

Information från ”EBC positive list of biomass feedstock”					Information inhämtad i projektet
Kategori	Exempel	Kommentar	Högsta EBC-klass	Exempel från projektet	
Ag	Lantbruk <i>Agriculture</i>	Energigrödor, halm, utgånget utsäde		Feed – Agro*	<ul style="list-style-type: none"> • Hampa, rörfilen, elefantgräs • Flis från salix
F	Skog och processat trä <i>Forest and wood processing</i>	Träflis, sågspån, bark	Enbart trä från certifierad hållbar produktion. T.ex. FSC, PEFC	Feed	<ul style="list-style-type: none"> • Träflis från barkborreskadad gran • Bark
S	Landskapsvård <i>Landscape management</i>	Rester från trädbeskärning, stubbar		Feed – AgroOrganic	<ul style="list-style-type: none"> • Träflis från sly • Trädgårdsavfall
R	Cirkulär ekonomi <i>Recycling economy</i>	Returpapper, returträ, rester från industriell biomassa		AgroOrganic – BasicMaterials	<ul style="list-style-type: none"> • Returträ. Obehandlat, målat, impregnerat
I	Fiberslam <i>Paper fibre sludge</i>	Slam från papperstillverkning		AgroOrganic	<ul style="list-style-type: none"> • Bio-, fiberslam från pappersbruk
K	Köks- och matavfall <i>Kitchen and canteen waste</i>	Skal och rester från matlagning	Max 1% plast	AgroOrganic	<ul style="list-style-type: none"> • Matavfall
N	Livsmedelsindustri <i>Food processing residues on vegetable basis</i>	Rester från tillverkning av livsmedel, tobak, öl/vin/sprit	Max 10% jord	Feed – AgroOrganic	<ul style="list-style-type: none"> • Spannmålsavrens • Oljeväxtavrens
W	Marin biomassa <i>Water maintenance & vegetal marine biomass</i>	Alger, sjögräs	Gränser för plast	Feed – AgroOrganic	
T	Textilier <i>Textiles</i>	Bomull, cellulosa, hampa	Gränser för syntetiska fibrer	AgroOrganic	
G	Rötrest, icke-animaliska <i>Non-animal digestate</i>	Bioslam från biogastillverkning	Gränser för plast och slaktavfall	AgroOrganic – Agro*	<ul style="list-style-type: none"> • Andra blöta slammer
	Djurgödsel <i>Livestock manure</i>	Gödsel från nöt, gris, höns och häst	Särskild analys krävs från fall till fall	Analys krävs	<ul style="list-style-type: none"> • Hästgödsel • Nötgödsel
	Reningsverksslam <i>Sewage sludge</i>	Röttslam	Särskild analys krävs från fall till fall	Analys krävs	<ul style="list-style-type: none"> • Icke rötat avloppsslam • Rötat avloppsslam
Z	Tillsatser <i>Additives</i>	Kalk, lera, stenhjöl	Tillsats i biomassan före pyrolys	AgroOrganic	

* Man skiljer strikt på biomassa från ekologiskt och konventionellt odlade grödor. Enbart biomassa från ekologisk odling är godkänd för produktion av ekologiskt klassad biokol (AgroOrganic).

Mappning mellan biomassa och användning

Mappningsmatrisen som beskrivs i Metodkapitlet används här för att analysera resursutnyttjande för de biomassor och användningsområden som identifierats under projektets gång. Kombinationernas gradering beräknas enligt beskrivningen i metodkapitlet *Mappning mellan biomassa och användning* ovan.

Grunden för analysen gäller för biokol. I projektet nyttjas samma kategorisering och referenser för att analysera mappningen mellan biomassa och användning av hydrokol.

Mappningsmatris för biokol

Genom att använda denna visualisering och metod för mappning av de biomassor som projektet analyserat går det relativt enkelt att se om en kombination är tillåten (enligt EBC), och om den är det också bedöma hur lämplig den är för biokol baserat på graden av resursutnyttjande. Figur 10 visar mappningsmatrisen för biokol.

För förtydligande av kombinationer i mappningsmatrisen, Figur 10, ges exempel från de fyra ytterligheterna:

- Övre vänstra hörnet
 - Hydrokol tillverkat av orötat avloppsslam som tillsats i byggnadsmaterial
 - Gradering 5 (5): lämplig kombination / optimalt resursutnyttjande
- Övre högra hörnet
 - Hydrokol tillverkat av orötat avloppsslam som tillsats i djurfoder
 - Gradering otillåten (-): Detta är en otillåten kombination
- Nedre vänstra hörnet
 - Biokol från träflis som tillsats i betong
 - Gradering 1 (1): tillåten men olämplig kombination / resursslöseri
- Nedre högra hörnet
 - Biokol från träflis som tillsats i djurfoder
 - Gradering 5 (5): lämplig kombination / optimalt resursutnyttjande

Denna analys och visualisering baserat delvis på information från projektets deltagare är en av de viktigaste delarna av projektresultatet.

	Användningsområde											
	Tillsats i byggnadsmaterial	Tillsats i porslin och textil	Kolfilter för luftrening	Kolfilter för rening av avloppsvatten	Kolfilter för rening av dagvatten	Trädplantering i stadsmiljö	Fritidsodling, konsumentförpackning	Jordförbättring i skog	Jordförbättring, ej eko	Jordförbättring, eko	Torvsättning i strö	Tillsats i djurfoder
Biomassa												
Ej rötat avloppsslam (T)	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Röttslam (T)	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Returträ, blandat	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Returträ, impregnerat	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Målat returträ, ej tungmetaller	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Returpapper med hög andel plast	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Returpapper (viss fraktion)	3	4	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-
Gödsel (T, S)	2	3	4	4	4	4	5	5	5	-	-	-
Slam från biogasproduktion (T)	2	3	4	4	4	4	5	5	5	-	-	-
Halm, traditionell	2	3	4	4	4	4	5	5	5	-	-	-
Returträ, limträ utan PVC	2	3	4	4	4	4	5	5	5	-	-	-
Matrester, utgånet datum (T)	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	-
Fiberslam (T)	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	-
Halm, ekologisk	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	-
Returträ, obehandlat (vitt)	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	-
Spannmålsavrens, fröer, retur	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	-
Trädgårdsavfall	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	-
Matrester, potatisskal (T)	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5
Oljeväxtavrens, ekologiskt	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5
Träflis av energiskog, Salix	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5
GROT och bark	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5
Sågspån	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5
Träflis	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5

Figur 10. Mappning mellan biomassa och biokol.

Mappningsmatris för hydrokol

Motsvarande mappning för hydrokol, för att analysera hur man skulle kunna optimera ett helt system med flera restströmmar och olika anläggningar inom till exempel regionen. EBC:s klassificering gäller för biokol och det finns ännu inte motsvarande riktlinjer för hydrokol. Vi har i projektet ändå valt att nyttja samma kategorisering för att analysera mappningen mellan biomassa och användning av hydrokol, se Figur 11. Mappning mellan biomassa och hydrokol.

	Användningsområde									
	Tillsats i byggnadsmaterial	Tillsats i porslin och textil	Kolfilter för rening av avloppsvatten	Kolfilter för rening av dagvatten	Trädplantering i stadsmiljö	Fritidsodling, konsumentförpackning	Jordförbättring i skog	Jordförbättring, ej eko	Jordförbättring, eko	Torversättning i strö
Biomassa										
Ej rötat avloppsslam	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Renings slam (röt slam)	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Returträ, blandat	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Returpapper med hög andel plast	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Gödsel	3	4	5	5	5	-	-	-	-	-
Matrester	3	4	5	5	5	-	-	-	-	-
Slam från biogasproduktion	3	4	5	5	5	-	-	-	-	-
Oljeväxtavrens	2	3	4	4	4	5	5	5	-	-
Salix	2	3	4	4	4	5	5	5	-	-
Fiberslam	1	2	3	3	3	4	4	4	5	5
Returträ, obehandlat (vitt)	1	2	3	3	3	4	4	4	5	5

Figur 11. Mappning mellan biomassa och hydrokol.

För hydrokol har färre biomassor och färre användningsområden analyserats vilket avspeglar den lägre mognaden jämfört med biokol. Det finns inte lika många aktörer eller uppenbara exempel för hydrokol.

Workshops och seminarium

Under projektets olika aktiviteter diskuterades en mängd förslag till fortsatt utveckling, forskning och samarbeten.

Odlingsförsök med biokol och hydrokol

Det finns många faktorer och variabler som påverkar odlingsförsök med biokol och hydrokol. De tester som har gjorts visar upp stor spridning på effekten av tillsatt kol i odlingen. Därför kan det vara svårt att räkna på återbetalningstid och därmed kan det vara lämpligt att använda biokol/hydrokol i intensivodlingar som ger stor avkastning per hektar. I Sverige skulle detta kunna vara odling av specialgrödor, ex. potatis, morötter, jordgubbar och sparris, dessa skördar ger ungefär 4–5 gånger mer avkastning än till exempel vete. Potatis och morötter odlas ofta på lätta sandjordar för att det är lättare att skörda och att få en ren och jämn produkt, vilket också är där kolet ger störst effekt. En aspekt att ta med här är dock att vissa specialgrödor måste odlas med vissa tidsintervall och då kanske man får mindre nytta av tillsatt kol i odlingsjorden.

Behov av sammanställning: det har gjorts många försök globalt (olika grödor och förhållanden). Nationellt har det också gjorts en del försök men uppfattningen är att de inte är så väl dokumenterade. För att skapa en bild av uppnådda resultat och vilken information som saknas bör försöken sammanställas. En diskussionspunkt var att även ta med groningshastighet i en sammanställning och vid framtida odlingsförsök.

I områden med tropiskt klimat verkar tillsats av kol i odlingsjorden ha större betydelse än i områden med tempererat klimat. I tempererade områden med bördigare jordar är skörden ofta nära sin maximala potential. Ändå har den allmänna förväntningen varit att biokol och hydrokol skulle kunna förbättra skördarna genom att ytterligare förbättra markens bördighet genom flera mekanismer. Data från växthusförsök med biokol antyder ingen eller potentiellt negativ effekt på skörden i tempererade områden. En möjlig mekanism för denna observerade effekt kan vara att biokol höjer markens pH för mycket (d.v.s. överkalkning) vilket leder till immobilisering av viktiga (mikro)näringsämnen, såsom mangan, järn, bor och fosfor (Strömberg, Håkansson 2022).

Genom att biokol håller vatten och näring kan det förbättra rotsystemet på fotbollsplaner, vilket gör dem mer slitagestarka och kan därmed förlänga fotbollssäsongen. Ett projekt för att lära mer om biokolets effekter på fotbollsplaner, med bland annat Skånefrö som projektpart, pågår i Helsingborg (Helsingborgs kommun 2022).

Hydrokol innehåller relativt mycket växtnäringsämnen och kan vara ett bra alternativ till torv i olika odlingssubstrat, både för professionell odling och fritidsodling.

Enligt den kunskap som samlats i projektet är det tydligt att de två största kategorierna av konsumtion i dagsläget utgörs av fritidsodling och plantering i urbana miljöer.

Priskänsligheten hos gruppen fritidsodlare bedöms vara lägre än hos andra användargrupper.

Förslag på saker som behöver/kan undersökas vidare:

- Påverkan på groningshastighet.
- Odlingsförsök för att studera kvävebindning.
- Livslängd på biokol och hydrokol vid tillsats i odlingsjord. Gäller både som kolsänka (så kallad permanens) och dess effekt som jordförbättrare över tid.

- Den långsiktiga effekten av vatten- och näringshållande kapacitet:
 - Vattenhållande förmåga vid spridning och över tid.
 - Studie indikerar att den beror på kolets partikelstruktur och interna porositet, och att den avtar med tiden (Liu et al. 2017).
 - Näringshållande förmåga vid spridning och över tid.
 - Positiva effekter som beror på innehåll av aska i biokol, såsom direkt tillförsel av näringsämnen och kalkningseffekt, är troligen kortlivade. De som beror på biokolstrukturen (dvs katjonutbytes- och vattenhållande förmåga) är mer långvariga (Strömberg, Håkansson 2022).
- Odlingsförsök och användning av biokol och hydrokol i skog för att se dess effekter.
- Påverkan på pH och kalkningseffekt.
 - Resultat tyder på att biokol med högt kalkningsvärde inte bör appliceras på mark med högt pH-värde (Strömberg, Håkansson 2022).

Som hjälpmedel för att sätta upp växtförsök med biokol på ett standardiserat sätt har IBI en beskriven metod: *Biochar Field Studies: An IBI Research Summary* (Laufer, Tomlinson 2013).

Försök i djurhållning

Inblandning kan ske i olika steg så som vid ensilering, i kraftfoder, i gödseln eller i en biogasreaktor. Inblandning i gödseln kan i sin tur innebära att det blandas i strö, ströbädd, flytgödsel och/eller urinbrunn.

Ämnen som diskuterades

- Moderna mjölkstallar (exempel Vreta utbildningscenter) har en nybyggd ladugård som är uppkopplad mot Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) där foder, mjölk etc. matas in varje dag. Just nu håller studenter på Linköpings universitet på med sensorer för att undersöka om man kan mäta metanutsläpp med kamerateknik. Vore intressant att mata korna med biokol som fodertillsats. Skulle moderna uppkopplade stallar relativt enkelt kunna användas som testbädd?
- I djurhållning kan biokol tillsättas i flera olika steg. Det kan ge nytta för djuren och för djurskötare på grund av minskad ammoniakhalt och lukt i djurstallet. Hur väl följer nyttan om vi tillsätter biokol i ett tidigt steg?
- Undersökning av för- och nackdelar med att ersätta torv med biokol eller hydrokol, inklusive minskad klimatpåverkan.
- Användning i landbaserad fiskodling.
- Undersöka hur biofilter med biokol eller hydrokol kan fungera som luftfilter i stallar. Biofiltret bör vara lätt att byta ut. Det uttjänta filtret har då laddats med näring.

Rening och filter

Som tidigare går kategorierna ibland i varandra, en del användning av biokol och hydrokol för rening och filter har tagits upp i föregående delkapitel. Här kommer några ytterligare diskussionspunkter från projektet:

- Undersöka hur filtrering och rening av dagvatten med hjälp av biokol kan fungera i praktiken.
- Biokol som fyllmaterial vid dränering

- Eskilstuna miljö och energi har tittat på att använda biokol för att filtrera lakvatten från tippen. Frågor som återstår att utreda: Hur länge funkar det, när är det mättat och vad gör man med filtret sen då?
- Biokol har troligen högre adsorption- och absorptionsförmåga än hydrokol. Kan hydrokol ändå användas till vissa filtertyper och i så fall vilka?

Ersättning av fossilt kol

Om kol enbart används för energiproduktion kan det per definition inte klassas som biokol. För hydrokol tycks denna begränsning inte vara lika strikt, även om det ännu inte finns en lika tydlig definition av hydrokol.

Det finns förslag att använda hydrokol primärt som bränsle. Det är tilltalande i de fall som produktionen av hydrokolet sker av restströmmar i direkt anslutning till exempelvis ett pappersbruk och det samtidigt finns värmebehov som kan tillgodoses med förbränning av hydrokolet.

Om man använder mappningen och graderingen som gjorts i detta projekt, kan ersättning av fossilt kol framför allt bli aktuellt då det finns restströmmar som inte kommer till annan nytta. Ur resurssynpunkt har annan användning (än ersättning av fossilt kol) av biokol och hydrokol från renare biomassor ett högre värde eftersom kolet inte avgår som koldioxid.

Olika typer av biomassa

Ett fokus i projektet var att nyttja rätt biomassa för användningsområdet, att öka resursutnyttjandet. Men för att få en helhetsbild behöver vi också se på biomassa i ett bredare perspektiv. En alternativ användning av träbaserad biomassa, är att enbart förbränna det till värme i stället för att tillverka både biokol och värme (eller pyrolysolja). Om detta är en långsiktigt hållbar biomassa för biokol, kan till exempel elbehovet behövas tas med i beräkningen.

I och med energibrist i delar av Europa under våren 2022 har intresset för biobaserad el- och värmeproduktion ökat. Flera tillverkare av kraftanläggningar jobbar med förgasningsteknik vid temperaturer där även en viss mängd biokol kan produceras. Ref: (Zazz Energy 2022), (Reset Energy 2022)

De flesta av biomassorna i analysen har andra rimliga användningsområden. Vilket är anledningen till att restströmmar väcker alltmer intresse. Röt slam har till exempel under lång tid använts, och används fortfarande, till övertäckning av gamla deponier. Snart är dock de flesta deponierna i Sverige färdigtäckta och man letar efter andra användningsområden för slammet, vilket är svårt att hitta (Ref: Biototal).

En intressant tillämpning av HTC-tekniken i pappers- och massaindustrin är behandling av fiberslam. Även om slammet är rikt på brännbart material är det svårt att nyttja i och med sin höga vattenhalt. Hydrokol är mer kompakt och lättare att avvattna än det ursprungliga slammet, samtidigt som vissa metaller kan avskiljas vilket gör hydrokol till en mer högvärdig produkt än fiberslam.

Produktion

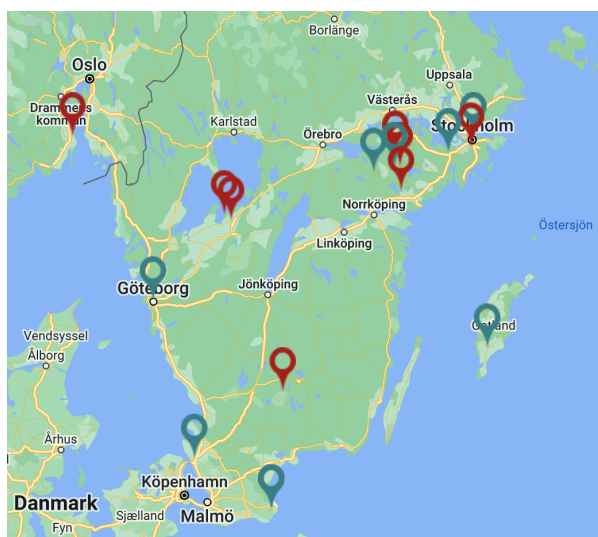
Industrialisering och marknad för HTC-processen och hydrokol är ännu inte lika mogen som för pyrolys och biokol. Det finns färre aktörer som kan leverera HTC-anläggningar och kunskapen om användning av hydrokol är lägre. Intresset och kunskapsstillväxt är ökar dock snabbt, vilket visade sig under projektets workshops och seminarium. För vidare utveckling av biokolpannor kom ett antal idéer upp på bordet:

- Olika typer av biokolpannor som är anpassade och optimerade för olika ändamål, till exempel för en specifik biomassa eller för en EBC-klass.
- Skalbarhet med standardiserade biokolpannor från mindre mobila anläggningar till storskaliga industrianläggningar.
- Mer flexibla och automatiserade pannor där olika typer av biomassa enkelt kan användas i samma panna.
- Lösningar så att effekten från pannan kan varieras snabbt och över ett stort spann.
- Kondensering av pyrolysgaser
 - Tillverkning av bioolja som kan lagras för förbränning vid stora effektbehov, till exempel i en spannmålstork.
 - Trävinäger. Stort på många marknader, ännu ej i Sverige
 - Tjära. Svenska Kyrkan behöver tjära till sina byggnader, och det importeras från Kina.

Produktion i allmänhet:

- Vreta utbildningscenter har idag fjärrvärme. Man skulle kunna producera värme med till exempel halm och samtidigt producera biokol.
- Eskilstuna kommun och svenska biokolföreningen vill starta en panna för biokol.
- Lantbrukare som producerar biokol för spridning på egen åkermark är intresserade av att vara med i kunskapsuppbyggnad genom att tillhandahålla storskalig testbädd.

En del av de kommersiella biokolanläggningar som finns i drift finns i en databas hos NBN och kan ses på deras karttjänst, se Figur 12 (Nordicbiochar webbplats, 2022).



Figur 12. Urklipp från karta på Nordic Biochar Network. De blå symbolerna betyder "Production" och de röda betyder "Production+Use".

EBC har en också en lista över certifierade tillverkare och aktörer i Europa. I Tabell 5 finns en lista över de producenter av biokol i Sverige som är registrerade hos EBC. (EBC Producer 2022)

Tabell 5. Lista över svenska aktörer som är certifierade enligt EBC.

Tillverkare	Ort	Länk
Skånefrö AB	Tommarp	www.skanefro.se
Bussme Biochar	Svedala	www.bussmeenergy.se
Skelleftea Carbon AB / Envigas AB	Bureå	www.envigas.com
Lantmännen Agrovärme AB	Jönköping	www.lantmannen.com
Hjelmsäters Egendom	Hällekis	www.hjelmsater.se/egendom.aspx
Grassroots Biochar AB	Kalmar	www.grassrootsbiochar.se
Skurups Fjärrvärme AB	Jönköping	www.lantmannenagrovärme.se
Telge Återvinning AB	Södertälje	www.telge.se
Nevel AB	Hudiksvall	www.nevel.com/sv

Efterbehandling ger specialdesignade biokol / hydrokol

Det framhålls ofta att man kan höja biokolets värde genom att tillverka anpassade biokol för specifika syften. Som beskrivits tidigare kan till exempel biokol och hydrokol aktiveras för användning i biofilter. Flera andra efterbehandlingar är möjliga. Tillverkning och användning av Biokolbaserat kvävegödsel (biochar-based N fertilizier, BBNF) beskrivs i (Gao, et al. 2022). En fördel med metoden är att kvävet frigörs till växterna i den takt de behöver så att de får bättre tillväxtförutsättningar samtidigt som kväveläckaget minskar.

Idéer och förslag om inom produktion och efterbehandling som kom upp under projektet:

- Ladda biokol med kommersiellt lättillgängliga näringsämnen, till exempel biogödsel.
- Undersök vilka biomassor i regionen som har problem med förhöjda halter av tungmetaller.
- Undersök om det är möjligt att blanda olika biokol och/eller hydrokol för att kunna skapa högre kvalitet på den färdiga produkten.
- Undersök till vilken grad pyrolys kan få tungmetaller i materialet att avgå via gasflödet: En bedömning är att Cd, Hg, As och Ag bör minska.

Kombination av olika nyttor

Med biokol och hydrokol ges breda möjligheter inom flera områden – biomassa, tillverkning och användning – vilket gör att man kan kombinera flera av dessa nyttor. Det är inte de enskilda nyttorna som är styrkan hos biokol, utan helheten. Det cirkulära tänket kan integreras i den ekologiska livsrytmen och denna kombination ger ett nytt tankesätt (Östergren 2019).

I användning av biokol blir kombinationen av olika nyttor en tydlig fördel. Eftersom biokol kan fungera som en uppsamlingsmekanism av olika ämnen, och därmed bli laddat, kan det i ett senare steg användas i odling eller där man vill tillföra näring.

Då biokol är inblandat i djurfoder kan det sedan återföras till jorden genom gödseln, och man kan binda en del av kvävet som annars hade avgått till luften. En annan fördel med detta är att det inte behövs extra maskiner för att hantera och sprida kolet på åkern, den följer med ut i den ordinarie gödselhanteringen. Kupper et al. föreslår att biokol inte tillsätts i strö utan tidigare i kedjan (till exempel i fodret) för att dra nytta av fler positiva effekter (Kupper et al. 2015). Vid tillsats i foder berikas biokolet med kväverika organiska föreningar under nedbrytningsprocessen och biokolgödseln blir ett organiskt gödselmedel. Detta gödselmedel har ett högre värde eftersom det har lägre näringsförluster och växthusgasutsläpp under lagring och markanvändning. (Schmidt et al. 2019)

Ett annat område där man kan nyttja biokolet för dess reningsförmåga är i fiskodlingar. När biokolet har använts i för att rena vattnet är det sedan laddat och kan med fördel användas i odling eller liknande.

Många restströmmar har man idag svårt att göra något nyttigt med, oftast våta biomassor så som bioslam. Med fördel kan man tillverka hydrokol av den våta biomassan och skulle man vilja nyttja restmassan till biokol skulle tillverkningen kunna ske i två steg – först till hydrokol sedan till biokol.

Utveckling av affärsmodeller

Möjligheterna med en cirkulär ekonomi baserat på kol och inlagring av kol är stora, och utvecklingen av affärsmodeller har troligen bara börjat. Det finns behov av att industrialisera produktionsprocessen. Förslag inom området som kom fram under projektet:

- Standardisering av produkter och tjänster för förenklade affärsmodeller
 - En standardiserad certifieringsprocess
 - Möjlighet att ta en amerikansk standard till Sverige vad gäller fodertillsatser
- Pristrender på biokol och kolsänksrätter mm
 - Priset på biokol är har ännu inte stabiliserats. Priskänsligheten hos fritidsodlargruppen bedöms vara lägre än hos andra användargrupper.

Förslag till samarbeten

Då biokol och hydrokol kan tillverkas av en mängd olika biomassor, och användas i ett brett spann av användningsområden uppkom flera diskussioner om samarbeten. Detta kommer tillbaka en del till kombination av nyttor, men utöver det diskuterades även följande punkter:

- Det kan behövas samarbeten och partnerskap för att utveckla certifieringen
- Samarbeta mellan småproducenter och tillsammans ansluta till en gemensam marknadsplats

Sätta upp industrisamarbeten mellan till exempel jordtillverkning och industri med slam som restprodukt.

- Det behövs samarbeten och partnerskap för att utveckla certifieringen. Samarbeta med etablerade certifieringsorganisationer till exempel Svenskt Sigill.

- Behov av partssammansatt gruppering som skriver regler/standard, sen kan olika aktörer vara kontrollförening för den standarden. Både konsumenter och producenter bör vara med.
- Bilda ett samarbete genom en aktör som samlar småproducenter och som tillsammans kan ansluta till en marknadsplats.
- Möjlighet att bilda samarbeten baserat på projektdeltagarna och dess nätverk: Energikontoret i Östergötland, Cleantech Östergötland, Agtech 2030, Envinn, Biototal, C-Green och Econova.

Även samarbeten inom finansiering, myndigheter och politik. Några punkter som noterades inom området:

- Om det finns en vinkling med koppling till energifrågor så går det troligen att hitta flera EU-program för finansiering
- Industriklivet finansierar biokolspannor för till exempel stålindustrin
- Klimatklivet delfinansierar investeringar i biokolspannor för lantbrukare baserat på känd teknik. Det går inte att finansiera direkta forsknings- eller utvecklingsprojekt från klimatklivet.
- Har Vinnova någon passande utlysning på gång?
- Att söka kontakt, informera och få dialog med politiska partier kom slutligen upp som en idé vid diskussioner under en workshop.

Exempelkalkyl med biokol i odling

Beroende på förutsättningar i det aktuella jordbruket och osäkerheten i kostnaden för biokol (om den är egentillverkad eller inköpt) så är det generellt svårt att göra en säker beräkning av lönsamheten för spridning av biokol på åkermark. I Figur 13 sammanställs ändå en exempelkalkyl för ett hektar med en spridning av biokol och en summerad effekt beräknat över 50 år.

Förutsättningar:

- Sandjord med låg närings- och vattenhållande förmåga.
- Femårig växtföljd med potatis som bas med genomsnittlig skörd på 45 ton per ha.
- Giva på 10 000 kg biokol/ha (engångskostnad det första året av 50)
- Skördeökning som beror på större och jämnare tillgång till vatten och näring
 - Potatis odlas i 20% av växtföljden och ger 10% högre skörd med biokol
 - Övriga grödor i 80% av växtföljd ger 5% högre skörd med biokol
- Kostnaden för kväve- och fosforgödning antas minska med 10% vardera på grund av minskad urlakning. Därmed minskar spridningskostnaden för gödning något.
- Egen tillverkning av biokol med produktionskostnaden 18 kr/kg (ca 3,60 kr/liter).
- Avdrag för kolsänksrätter: 6,93 kr/kg biokol beräknat på:
 - 220 Euro per ton CO₂
 - Valutakurs 10,50 kr/Euro
 - Omvandlingstal från CO₂ till biokol: 3 kg/kg
- Kostnad för spridning av biokol: 800 kr/ha

Exempel-kalkyl biokol	Indata			Resultat		
	Förändring	Mängd	Pris	+ intäkt/ - kostnad	Totalt 50 år	Utslaget per år
	(%, kr)	(kg/ha/år)	(kr/kg)	(kr)	(kr/50 år)	(kr/år)
Ökad intäkt för högre skörd						
Potatis (20% av växtföljd)	10%	45 000	2,50	11 250	112 500	2 250
Övriga grödor (80% av växtföljd)	5%	7 500	3,20	1 200	48 000	960
Minskad kostnad för gödsling						
Kväve	10%	155	20,00	310	15 500	310
Fosfor	10%	30	30,00	90	4 500	90
Minskad spridningskostnad (körning)	150			150	7 500	150
Summa intäkter och minskade kostnader					188 000	3 760
Kostnader						
Kostnad för biokol, engångskostnad		10 000	18,00	-180 000	-180 000	-3 600
Avdrag för kolsänksrätter		10 000	6,93	69 300	69 300	1 386
Spridningskostnad	-800			-800	-800	-16
Summa kostnader					-111 500	-2 230
Totalt					76 500	1 530

Figur 13. Sammanställning av exempelkalkyl för biokol i växtföljd med potatis.

Resultat med givna förutsättningar blir ett positivt resultat med drygt 1 500 kr per år i genomsnitt över de 50 åren.

Övriga effekter

- + Minskat näringsläckage => minskad övergödning
- + Ökad bördighet => ökat markvärde
- + Jämnare skörd över åren => ökad livsmedelssäkerhet
- Albedo-effekt, alltså mörkare jord som fångar mer solinstrålning vid barmark.

Det finns 40 olika effekter av biokolanvändning i lantbruk presenterade i en analys av biokolets miljönyttor. Hälften av effekterna har en övervägande positiv påverkan (Celander, Söderqvist 2021).

Utmaningar och risker med biokol och hydrokol

Ett hinder för att skala upp användningen av biokol och hydrokol i lantbruk är produktionskostnaden och svårigheten att beräkna återbetalningstiden på grund av så många osäkra faktorer. De ökande energipriserna utgör också en bromsande effekt eftersom biomassa i många fall har en alternativ användning som bränsle. I

Tabell 6 finns en lista på ytterligare några utmaningar och risker som identifierats under projektet.

Tabell 6. Lista med identifierade utmaningar och risker.

Utmaning eller risk	Biokol / hydrokol	Åtgärd för riskminimering
Brandrisk	Gäller torr biokol	Rekommendationen är att fukta biokolet direkt efter pyrolys
Hälsofara om dammigt	Gäller torr biokol	Andningsskydd rekommenderas vid hantering av torrt material. Biokolet bör fuktas direkt efter pyrolys för att minimera damm
Alternativ användning som energi	Gäller både biokol och hydrokol	Bör undvikas, kolet fångas inte till kolsänka. Genom att använda en modern och effektiv produktionsanläggning kan den sammanlagda nyttan av energi och bio/hydrokol maximeras
Marknaden för kolkrediter är omogen	Gäller främst hydrokol, men även biokol	Generellt är den största osäkerheten permanent. Notera att man inte alltid behöver nyttja kolkrediter för att få ekonomi i en anläggning
Föroreningar i biomassa, främst tungmetaller	Gäller både biokol och hydrokol	Om EBCs rekommenderade nivåer av rester (ex. tungmetaller) och användningsområden efterlevs så minimeras risken

Oron för tungmetaller nämns ofta i diskussioner om cirkulär ekonomi som till exempel användning av restströmmar för tillverkning av biokol och hydrokol. Det är viktigt att ha kunskap om innehållet och kontroll på källorna för restströmmarna. De regler för gränsvärden som finns i EBC och SFS ska säkerställa långvarig hållbarhet.

En svårighet som identifierades under arbetet är den stora variationen av föroreningar som kan förekomma i bland annat kommunalt avloppsslam. På bara någon vecka kan halterna i slammet förhöjas och det går då från att vara fullt tjänligt till otjänligt för tillverkning av hydrokol till odlingssubstrat. Planerbarheten blir då påverkad och viljan att förlita sig på storskalig användning sjunker, liksom förutsättningarna för en långsiktigt ekonomisk hållbar verksamhet.

Metoddiskussion

Arbetsmetoden med tre workshops och ett öppet seminarium med kopplad samverkansdiskussion ansågs av deltagarna ha fungerat bra. Även upplägget med hybridmöte med förstärkt teknikstöd ansågs lyckat. Att stor vikt lades vid att skapa en miljö där alla medverkade, oavsett digitalt eller på plats, hade samma förutsättningar upplevdes ge resultat. Hybridmöten är en utmaning och att interagera vid en större sammankomst (seminariet) ansågs fortfarande ha vissa begränsningar.

Hela upplägget gav ett positivt stöd för fortsatt samarbete mellan olika aktörer och olika typer av aktörer, så som lantbrukare, panttillverkare, kommersiella användare, fritidsodlare, certifieringskunniga, klusterorganisationer och myndighetsrepresentanter. Metoden ansågs passa till denna typ av kortare projekt och planeras att användas i kommande liknande kunskapsintensiva projekt med stort fokus på samarbete.

Med utgångspunkt från EBC:s regelverk för klassificering av biokol skapades mappningen som upplevdes tydligt och enkelt grund för projektet. För att användningen i detta projekt fungerade det bra att använda samma metod för hydrokol som för biokol. Den byggdes på eftersom och öppnade upp till många intressanta diskussioner. För att utveckla mappningen skulle man kunna lägga till fler variabler, som tillgänglighet av biomassa, efterfrågan av användning och så vidare.

Slutsatser

Rapporten presenterar resultat från projektet "Kolinlagring med fokus på Biokol i östra Mellansverige", finansierat främst av Agtech 2030. Projektets huvudsyfte var att analysera potentialen hos olika biomassor för användning av biokol och hydrokol.

Marknaden för biokol som produkt är relativt mogen, med fritidsodling och urban plantering som stora konsumentgrupper. Tack vare att organisationer som EBC arbetat fram riktlinjer under några år så kan producerad biokol klassificeras på ett tydligt sätt. Olika biokol kan också bedömas som lämpligt eller olämpligt för olika användning baserat på klassificeringen.

Den fria marknaden för kolsänksrätter baserat på biokol håller på att etableras men det återstår en del standardiseringsarbete för att få marknadens aktörer att agera mer likvärdigt. Inom EU:s gröna giv pågår arbete med regelverk och en styrd marknadsplats för handel med kolkrediter.

Marknaden för hydrokol och kolsänkor baserade på hydrokol är mindre mogna och saknar regelverk. Aktörer inom hydrokol-marknaden är få och standardisering likt EBC saknas.

Projektanalysen visar att biokol och hydrokol från olika biomassor kan användas mer resursoptimalt än idag. Exempelvis är dagens relativt vanliga kombination av biokol från träflis i urban plantering inte optimal. Bättre vore att använda återvunnet tryckimpregnerat trä för urban trädplantering och det renare biokolet från träflis som djurfodertillsats.

Metoden för mappning fungerade som en bra grund och gav nya perspektiv, den utvecklades under hela projektets gång och blev även en tydlig sammanställning av ett brett projekt. Med tre workshops och ett öppet seminarium med kopplad samverkansdiskussion skapades ett bra samarbete mellan deltagarna. Att samla aktörer från olika områden gav nya infallsvinklar och intressanta diskussioner.

Referenser

- Andersson S (2022) Olika strömaterials förmåga att binda fukt och ammoniak, samt deras tendens att damma: en studie med fokus på fjäderfäproduktion. Uppsala: SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV)
- ANZBIG webbplats <https://anzbig.org> [2022-07-03]
- Azzi E (2021) Biochar systems across scales in Sweden: An industrial ecology perspective (PhD dissertation, KTH Royal Institute of Technology). <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-303912>
- Biokolsverige webbplats <https://biokolsverige.se> [2022-07-03]
- Biototal webbplats <https://www.biototal.se> [2022-07-03]
- Carbon Future webbplats <https://www.carbonfuture.earth> [2022-07-03]
- Celander F, Söderqvist H (2021) Miljönyttomodell: Kartläggning av systemeffekter av biokol i lantbruket. 2050 Consulting. <https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2020/08/kolsanksratter-miljonyttomodell-kartlaggning-av-systemeffekter-av-biokol-i-lantbruket.pdf>
- C-green webbplats <https://www.c-green.se> [2022-07-03]
- C-sink webbplats <https://www.european-biochar.org/en/c-sink> [2022-10-06]
- Chen W, Meng J, Han X. et al. (2019) Past, present, and future of biochar. *Biochar* 1, 75–87. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00008-3>
- Dagens Industri *Kapplöpning om biokol när industrin ställer om* Publicerad 2022-08-14. <https://di.se/nyheter/kapploping-om-biokol-nar-industrin-staller-om>
- de Jager, M., Giani, L. An investigation of the effects of hydrochar application rate on soil amelioration and plant growth in three diverse soils. *Biochar* 3, 349–365 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00089-z>
- Dieguez-Alonso A, Funke A, Anca-Couce A, Rombolà A, Ojeda G, Bachmann J, Behrendt F (2018) Towards Biochar and Hydrochar Engineering—Influence of Process Conditions on Surface Physical and Chemical Properties, Thermal Stability, Nutrient Availability, Toxicity and Wettability. *Energies*, 11(3), 496. <https://doi.org/10.3390/en11030496>
- EBC (2012-2022) European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://european-biochar.org>. Version 10.1 from 10th Jan 2022
- EBC (2022) Positive list of biomass feedstock approved for use in producing biochar. European Biochar Certificate. https://www.european-biochar.org/media/doc/2/positivlist_en_2022_1_v10_1.pdf
- EBC Producers <https://www.european-biochar.org/en/companies> [2022-10-06]
- Energiläget 2021. Energimyndigheten. <https://energimyndigheten.se/statistik/energilaget>
- Envigas webbplats <https://www.envigas.com> [2022-07-30]
- Envinn Biokol webbplats <https://envinnbiokol.se/marknad> [2022-07-03]

- FMI -Yasso (2022) Soil carbon model – Yasso. Finnish Meteorological Institute <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/yasso> [2022-09-22]
- Fransson AM, Gustafsson M, Malmberg J, Paulsson M (2020) Biokolhandboken - för användare. <https://biokol.org/publikationer/pdf/biokolhandboken>
- Fritidsodlingens Riksorganisation webbplats <https://for.se> [2022-06-04]
- Gao Y, Fang Z, Van Zwieten L et al. (2022) A critical review of biochar-based nitrogen fertilizers and their effects on crop production and the environment. *Biochar* 4, 36 (2022) <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00160-3>
- Gerlach H, Schmidt HP (2012) Biochar in poultry farming. *Ithaca Journal*.
- Helsingborgs kommun (2022) Biokol för grönare gräs och mer fotboll. Innovation i Helsingborg <https://innovation.helsingborg.se/initiativ/biokol-for-gronare-gras-och-mer-fotboll/> [2022-09-22]
- IBI (2013) Biochar Carbon Stability Test Method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability. International Biochar Initiative.
- IBI webbplats <https://biochar-international.org> [2022-07-03]
- Ka Yan Man, Ka Lai Chow, Yu Bon Man, Wing Yin Mo & Ming Hung Wong (2021) Use of biochar as feed supplements for animal farming, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51:2, 187-217, DOI: 10.1080/10643389.2020.1721980
- Karlsson C (2019) Utvärdering av potential hos organiska restmaterial för avsättning i form av biokol (Dissertation). Hämtad från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-259366>
- Kumar A, Saini K, Bhaskar T (2020) Hydrochar and biochar: Production, physicochemical properties and techno-economic analysis, *Bioresource Technology*, Volume 310, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123442>
- Kupper T, Fischlin I, Häni C, Spring P (2015) TC-P_09 Use of a feed additive based on biochar for mitigation of ammonia emissions from weaned piglets and broilers. In: RAMIRAN, 2015–16th International Conference Rural-Urban Symbiosis. Hamburg: *Advances in Emission Prevention*. 424–427.
- Laufer J, Tomlinson T (2013) Biochar Field Studies: An IBI Research Summary. International Biochar Initiative, IBI. https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Field_Studies_Final_May_2013.pdf
- Liu Z, Dugan B, Masiello CA, Gonnermann HM (2017) Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PLOS ONE* 12(6): e0179079. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179079>
- McDonald H et al. (2021) Certification of Carbon Removals. Part 2: A review of carbon removal certification mechanisms and methodologies. Vienna: Environment Agency Austria.
- Mellhorn M (2015) Biokol som filtermaterial i anslutning till dränering av åkermarksdiken: Utformning, installation och utvärdering av ett biokolsfilter (Dissertation). <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-242681> [2022-10-06]
- Mlonka-Mędrala A, Sieradzka M, Magdziarz A (2022) Thermal upgrading of hydrochar from anaerobic digestion of municipal solid waste organic fraction, *Fuel*, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124435>

Nordicbiochar webbplats <https://www.nordicbiochar.org> [2022-07-03]

Nori webbplats <https://nori.com/> [2022-10-06]

Osslund F (2020) Prioritising biochar application to arable land in Sweden: A spatial multi-criteria analysis (Dissertation). <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-281926>

PURO webbplats <https://puro.earth> [2022-07-03]

Reset Energy webbplats <https://www.resetenergy.com> [2022-07-07]

RISE (2021) Hydrotermisk karbonisering (HTC) av slam, <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/hydrotermisk-karbonisering-htc> [2022-09-30]

Ritz CW, Fairchild, BD, Lacy MP (2004) Implications of Ammonia Production and Emissions from Commercial Poultry Facilities: A Review. Journal of Applied Poultry Research, 13 (4), 684–692. <https://doi.org/10.1093/japr/13.4.684>

Schmidt HP, Hagemann N, Draper K, Kammann C (2019) The use of biochar in animal feeding. PeerJ 7:e7373. <https://doi.org/10.7717/peerj.7373> [2022-10-03]

Solkol (2021) Projekt inom Hushållningssällskapets Agtech Challenge 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=9cfPR2zCBxc> [2022-07-03]

SPCR 152 Certifieringsregler för kompost, version 2021-2022. Avfall Sverige, 2021.

Strömberg L, Håkansson M (2022) The potential for large-scale implementation of biochar in the agricultural sector – A quantitative study on plant growth in light soils and a qualitative study on the agricultural sector’s perception on biochar. SLU.

Varför biokol? (2022) Seminarium på Vreta kluster den 2022-06-07. <https://www.youtube.com/watch?v=JHeqWVtSv14>

Wikipedia (2022) Hydrothermal carbonization, https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrothermal_carbonization [2022-09-30]

Zazz Energy webbplats <https://www.zazzenergy.com> [2022-09-07]

Östergren S (2019) Användningspotential av biokol i urban miljö. Avancerad nivå, A2E. Alnarp: SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning. <https://stud.epsilon.slu.se/15320>

Bilagor

Bilaga 1. Seminarieprogram

Vreta Kluster utvecklingscentrum 2022-06-08

Tid	Programpunkt	Talare från	Talar
08:30	Registrering, fika och mingel		
09:00	Välkommen och inledning	Vreta Kluster & Envinn	På plats
09:10	Varför kolinlagring?	Svensk kolinlagring	Digitalt
09:30	Produktion av biokol från fast biomassa	biokol.se & BioMacon Sverige	På plats
09:50	Produktion av hydrokol från flytande biomassa	Biototal	På plats
10:10	Användning av hydrokol och biokol i fritidsodling och i parker och anläggningar	Econova & C-green	På plats
10:30	Bensträckare		
10:40	Användning av biokol i lantbruket - var finns den största potentialen?	Lovang Lantbrukskonsult & Masteruppsats SLU	På plats
11:00	Affärsmodell: Utveckling av en svensk standard för kolsänksrätter med biokol	Hushållningssällskapet	På plats
11:20	Affärsmodell: Kolsänksrätter, Carbon credits - så här fungerar det	Carbon Future	Digitalt
11:40	Paneldiskussion med talarna	Panel med talare	På plats/ Digitalt
12:00	Lunch		
13:00-14:00	Samverkansdiskussion för formering av nya samarbeten och utvecklingsprojekt.	Cleantech Östergötland	På plats